

## CYRKULACYJNE UWARUNKOWANIA SKRAJNYCH WIELKOŚCI ZACHMURZENIA W ZACHODNIEJ CZĘŚCI KARPAT POLSKICH

*Grażyna Pluta*

### Circulation conditions of the extreme amount of cloudiness in the western part of Polish Carpathians

*Abstract:* In spite of the fact that cloudiness is not a direct reason of extreme meteorological events, it is a visual indicator of atmospheric conditions influencing the formation of other meteorological elements. It can also help in forecasting and explaining meteorological phenomena. In this paper selected characteristics of cloudiness in periods with anomalous and extreme amount of cloudiness at three synoptic stations in the western part of Polish Carpathians were analyzed. Months with anomalous and years with extreme amount of cloudiness were taken into account. Records of cloudiness observations in the years 1971–2000 at selected synoptic stations of Institute of Meteorology and Water Management (Bielsko-Biała, Kasprowy Wierch, Zakopane) were used in this analysis. Data from the *Calendar of synoptic situations for Southern Poland* by Niedźwiedź (2011) regarding circulation patterns and air masses from the appropriate period were used as well. This analysis indicated a distinct influence of atmospheric circulation on the occurrence of anomalous amount of cloudiness and some modifications of this influence by local conditions. It also showed differences between the processes that form anomalous amount of cloudiness at different locations in the analyzed mountain area.

*Keywords:* extreme amount of cloudiness, circulation pattern, air mass, cloudless day, overcast day, cloud genus

*Zarys treści:* Pomimo że zachmurzenie nie stanowi bezpośredniej przyczyny tzw. ekstremalnych zjawisk pogodowych jest ono wizualnym wskaźnikiem stanu atmosfery, który

jednocześnie wpływa na kształtowanie innych elementów meteorologicznych i może pomóc w prognozowaniu i wyjaśnieniu wielu zjawisk meteorologicznych. W niniejszym artykule zanalizowano wybrane charakterystyki zachmurzenia w okresach o anomalnej i ekstremalnej wielkości zachmurzenia na trzech stacjach synoptycznych w zachodniej części Karpat Polskich w powiązaniu z towarzyszącymi im warunkami cyrkulacji atmosferycznej. Uwzględniono miesiące o anomalnej i lata o ekstremalnej wielkości zachmurzenia. W analizie wykorzystano wyniki obserwacji zachmurzenia prowadzonych w latach 1971–2000 na wybranych stacjach synoptycznych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej: Bielsko-Biała, Kasprowy Wierch i Zakopane. Dołączono również dane z *Kalendarza typów cyrkulacji atmosfery dla Polski Południowej* (Niedźwiedź 2011) dotyczące typów cyrkulacji oraz mas powietrza w analizowanym trzdziestoleciu. Dokonana analiza wykazała wyraźny wpływ cyrkulacji atmosferycznej na występowanie anomalnej wielkości zachmurzenia oraz modyfikacje tego wpływu przez czynniki lokalne. Wskazała również na różnice procesów kształtujących anomalne wielkości zachmurzenia w różnych położeniach górskich na analizowanym terenie.

*Słowa kluczowe:* ekstremalna wielkość zachmurzenia, typ cyrkulacji, masa powietrza, dzień bezchmurny, dzień całkowicie zachmurzony, rodzaj chmur

## Wprowadzenie

Zachmurzenie nie stanowi bezpośredniej przyczyny tzw. ekstremalnych zdarzeń pogodowych pomimo tego, że jest podstawowym czynnikiem meteorologicznym kształtującym dopływ energii słonecznej do powierzchni Ziemi, a tym samym temperaturę powietrza, oraz warunkującym występowanie opadów, w tym o charakterze ekstremalnym. Jest ono jednocześnie wizualnym wskaźnikiem stanu atmosfery i może być pomocne w wyjaśnieniu wielu zjawisk meteorologicznych. Nieliczne (np. Matuszko i Piotrowicz 2012) są jednak opracowania rozważanego w niniejszym artykule tematu. Dłuższe okresy z całkowitym zachmurzeniem są uciążliwe psychicznie i biologicznie. Anomalne zachmurzenie w okresie wegetacyjnym wpływa też na wielkość plonów. Z tych powodów ważne jest wyjaśnienie przyczyn występowania anomalnie dużego lub anomalnie małego zachmurzenia, do których należy wpływ cyrkulacji atmosferycznej, zarówno pod względem typu cyrkulacji, jak i zalegającej masy powietrza. Ma to szczególne znaczenie na terenach o zróżnicowanej rzeźbie, zwłaszcza górskich, gdzie mogą występować lokalne różnice zachmurzenia wywołane np. przez spiętrzanie wilgotnych mas powietrza, efekty fenowe lub zaleganie niskich chmur warstwowych.

Głównym przedmiotem niniejszego opracowania jest określenie uwarunkowań cyrkulacyjnych występowania miesięcy o anomalnej i lat o maksymalnej i minimalnej wielkości zachmurzenia na wybranych stacjach w zachodniej części Karpat Polskich. Jako uwarunkowania cyrkulacyjne została ujęta struktura typów cyrkulacji oraz mas powietrza. Dodatkowo, w celu wyróżnienia podstawowych procesów wpływających na występowanie miesięcy o anomalnym zachmurzeniu, dokonano również ogólnej

analizy wybranych charakterystyk zachmurzenia w rozważanym trzydziestoleciu; należą do nich liczba dni bezchmurnych i całkowicie zachmurzonych oraz rodzaje chmur dominujące w analizowanych okresach.

## Materiały i metoda pracy

W opracowaniu użyto danych z obserwacji zachmurzenia z trzech głównych terminów (6, 12 i 18 UTC) z lat 1971–2000 dokonywanych na stacjach synoptycznych IMGW: Bielsko-Biała (49°48'N, 19°00'E, 399 m n.p.m.), Kasprowy Wierch (49°14'N, 19°59'E, 1989 m n.p.m.), Zakopane (49°18'N, 19°17'E, 860 m n.p.m.). Uwzględniono również *Kalendarz typów cyrkulacji atmosfery dla Polski Południowej* (Niedźwiedź 2011) z tego samego trzydziestolecia.

Wielkość zachmurzenia (%) przeliczono na średnie dobowe, a następnie na średnie miesięczne i roczne. Zrezygnowano z całościowego zastosowania często używanej definicji anomalii elementu meteorologicznego (*Słownik meteorologiczny* 2003), określanej jako odchylenie od normy klimatycznej przekraczającej określoną wartość (2 lub 3 odchylenia standardowe) ze względu na specyfikę przedstawiania elementu, jakim jest zachmurzenie. Należałoby bowiem wówczas ograniczyć się do studium przypadku i wykluczyć z analizy jedną ze stacji z powodu braku tak definiowanych anomalii, co byłoby rozbieżne z celem pracy obejmującym wykazanie bardziej ogólnych zależności. Za miesiące o anomalnym zachmurzeniu przyjęto natomiast te, w których przekraczało ono percentyl 95% – anomalnie duże, lub było mniejsze niż określone przez percentyl 5% – anomalnie małe (Żmudzka 2012). Wyznaczono również lata o maksymalnym i minimalnym zachmurzeniu w badanym trzydziestoleciu, traktując je jako studium przypadku (Matuszko i Piotrowicz 2012).

Wyznaczono częstość (%) typów cyrkulacji (Niedźwiedź 1981) w miesiącach o anomalnej wielkości zachmurzenia oraz odchylenia tych wielkości od średnich trzydziestoletnich. Uwzględniono wersję *Kalendarza* Niedźwiedzia (1981), w której wydzielono 11 typów cyrkulacji, w tym 8 typów adwekcyjnych, 2 stanowiące sytuacje bezadwekcyjne lub o zróżnicowanych kierunkach adwekcji oraz 1 (oznaczony jako x) zarezerwowany do opisu siodła barycznego i sytuacji nie dających się zaklasyfikować. Dokonano oceny istotności różnic między częstością wyróżnionych typów cyrkulacji oraz mas powietrza w miesiącach o anomalnym zachmurzeniu oraz we wszystkich miesiącach trzydziestolecia. Przeprowadzono ją za pomocą testu do porównywania wskaźników struktury (Żmudzka 2012), obliczając statystykę  $u$  (Kowalski 2003). Obliczono ponadto odpowiednio liczbę dni bezchmurnych lub całkowicie zachmurzonych w miesiącach o anomalnym zachmurzeniu. Dni takie wydzielono na podstawie odpowiednich kryteriów (Matuszko 2006):

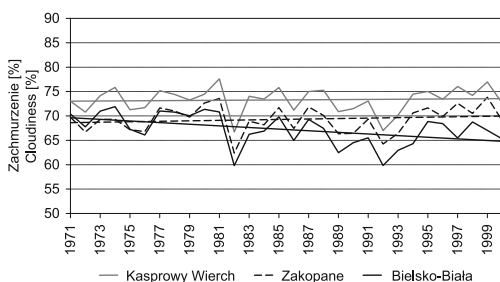
– *dzień bezchmurny* – dzień, w którym niebo jest bez chmur w czasie trzech obserwacji klimatologicznych;

– *dzień całkowicie zachmurzony* – dzień, w którym średnie zachmurzenie dobowe  $Z_d = 100\%$ .

Wyznaczono również częstość (%) rodzajów chmur kształtujących występowanie miesięcy o anomalnym zachmurzeniu.

## Wieloletnia zmienność zachmurzenia w zachodniej części Karpat Polskich

Zachmurzenie na analizowanym terenie wykazywało pewne cechy wspólne, obejmujące wyraźny spadek wielkości zachmurzenia pomiędzy końcówką lat 70. a latami 80. XX w. oraz ponowny wzrost w latach 90. (tab. 1). Wyróżniała się jednak stacja Bielsko-Biała, gdzie ponowny wzrost wielkości zachmurzenia w trzeciej dekadzie był mniejszy niż w pozostałych stacjach, co spowodowało jedynie tam istotny trend spadkowy wielkości zachmurzenia obejmujący badane trzydziestolecie. W sytuacji gdy na wszystkich rozważanych stacjach minimum wielkości zachmurzenia stwierdzono w 1982 r. (59,8%), tylko w Bielsku-Białej niemal taka sama jego wielkość wystąpiła również w 1992 r. Podczas gdy z kolei w Bielsku-Białej maksymalne zachmurzenie (71,9%) obserwowano w 1974 r., na Kasprowym Wierchu największe było ono w 1981 r. (77,6%), a w Zakopanem (73,8%) w 1999 r. (ryc. 1). Widoczne było zatem zróżnicowanie między położoną na obrzeżu analizowanej części Karpat stacją w Bielsku-Białej



Ryc. 1. Wieloletni przebieg wielkości zachmurzenia w zachodniej części Karpat Polskich (1971–2000) wraz z trendami liniowymi

Fig. 1. Multi-annual course of the magnitude of amount of cloudiness in the western part of Polish Carpathians (1971–2000) with linear trends

a pozostałymi (Kasprowy Wierch i Zakopane), zlokalizowanymi w bardziej osłoniętych położeniach górskich. Dowodzi to odmiennych przyczyn kształtowania największego zachmurzenia w Bielsku-Białej, związanych z ekspozycją stacji na napływ i spiętrzanie wilgotnych mas powietrza. Na dwóch pozostałych stacjach maksimum wynikało w większym stopniu z warunków sprzyjających tworzeniu chmur silnie związanych z warunkami lokalnymi: wypukłą formą terenu i nasiloną konwekcją lub wklęsłą formą terenu i zaleganiem chmur warstwowych piętra niskiego.

Tab. 1. Wybrane informacje dotyczące wielkości zachmurzenia [%] w zachodniej części Karpat Polskich w okresie 1971–2000

Table 1. Selected data on the magnitude of amount of cloudiness [%] in the western part of Polish Carpathians in the period 1971–2000

	Bielsko-Biała	Kasprowy Wierch	Zakopane
Średnia roczna Mean annual value	67,2	73,3	69,3
Odchylenie standardowe Standard deviation	3,3	2,6	2,7

## Uwarunkowania występowania okresów o skrajnej wielkości zachmurzenia w zachodniej części Karpat Polskich

### Miesiące o anomalnej wielkości zachmurzenia

Występowaniu miesięcy o anomalnie małym zachmurzeniu na całym analizowanym terenie sprzyjała zwiększona częstość typu cyrkulacji Ca+Ka oraz masy PPK, a w Zakopanem i na Kasprowym Wierchu ponadto typu S+SWa (ryc. 2 i tab. 2), co wskazuje na istotną rolę sytuacji o charakterze fenowym w zmniejszaniu zachmurzenia we wspomnianych przypadkach. Najwięcej dni bezchmurnych zanotowano w miesiącach o anomalnie małym zachmurzeniu w Zakopanem, ale ich liczba na Kasprowym Wierchu najbardziej odbiegała od średniej (tab. 3). Pod względem struktury zachmurzenia wyróżniał się Kasprowy Wierch, na którym obok innych

Tab. 3. Średnie miesięczne liczby dni bezchmurnych oraz całkowicie zachmurzonych w zachodniej części Karpat Polskich w okresie 1971–2000

Table 3. Average monthly number of cloudless and overcast days in the western part of Polish Carpathians in the period 1971–2000

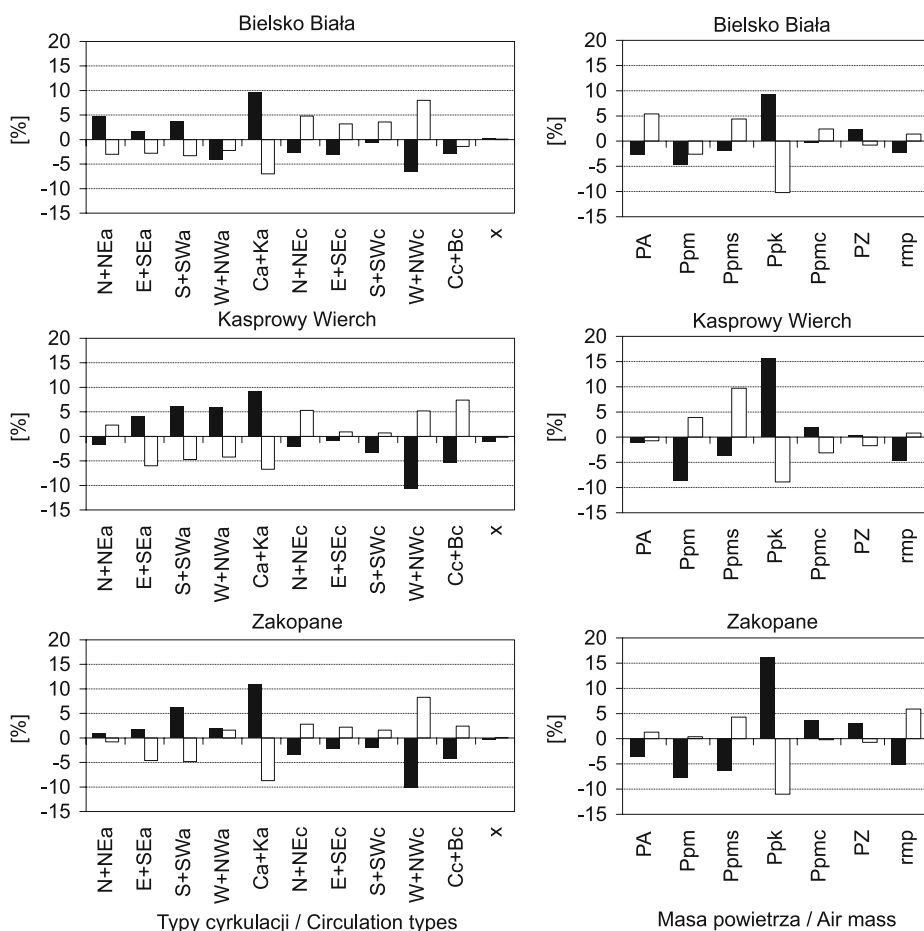
Dni / Days	Percentyl / Percentile	Bielsko-Biała	Kasprowy Wierch	Zakopane
Bezchmurne Cloudless	<05	2,5	3,2	3,5
	średnia miesięczna mean monthly	0,9	0,5	0,9
Całkowicie zachmurzone Overcast	>95	11,2	10,1	7,6
	średnia miesięczna mean monthly	2,1	1,1	2,5

Tab. 2. Typy cyrkulacji i masy powietrza według klasyfikacji Niedźwiedzia (1981), których średnia częstość [%] w miesiącach o anomalnym zachmurzeniu była istotnie różna na poziomie  $\delta = 0,05$  od średniej z trzdziestolecia: a – większa, b – mniejsza  
 Table 2. Circulation patterns and air masses, according to the classification by Niedźwiedź (1981), whose average frequency [%] in the months with anomalous amount of cloudiness was significantly different, at a level of  $\delta = 0,05$  from the average frequency in analyzed 30 years: a – bigger, b – smaller

Stacja / Station	Charakterystyki cyrkulacji Characteristics of Csirculations	Anomalnie duże zachmurzenie Anomally high value of cloudiness		Anomalnie małe zachmurzenie Anomally low value of cloudiness	
		a	b	a	b
Bielsko-Biała	Typ cyrkulacji Circulation type	W+NWc	Ca+Ka	Ca+Ka	W+NWc
	Masa powietrza Air mass	PA, PPms	PPk	PPk	PPm
Kasprowy Wierch	Typ cyrkulacji Circulation type	Cc+Bc, N+NEc, W+NWc	Ca+Ka, E+SEa	Ca+Ka, S+SWa, W+NWa	W+NWc, Cc+Bc
	Masa powietrza Air mass	PPms	PPk	PPk	PPm
Zakopane	Typ cyrkulacji Circulation type	W+NWc	Ca+Ka	Ca+Ka, S+SWa	W+NWc
	Masa powietrza Air mass	rmp, PPms	PPk	PPk	PPm, PPms, rmp

*Objaśnienia:* W+NWc/a – typ zachodni i północno-zachodni cyklonalny/antycyklonalny, Ca+Ka – sytuacja (typ) centralna antycyklonalna i klin antycyklonalny, Cc+Bc – sytuacja (typ) centralna cyklonalna i bruzda cyklonalna, N+NEc – typ północny i północno-wschodni cyklonalny, E+SEa – typ wschodni i południowo-wschodni antycyklonalny, S+SWa – południowy i południowo-zachodni antycyklonalny, PA – masa powietrza arktycznego, PPms – masa powietrza polarnego starego, PPk – masa powietrza polarnego kontynentalnego, PPm – masa powietrza polarnego morskowego, rmp – różne masy powietrza

*Explanations:* W+NWc/a – western and north-western cyclonic/anticyclonic type, Ca+Ka – central anticyclonic situation (type) and anticyclonic ridge, Cc+Bc – central cyclonic situation (type) and cyclonic trough, N+NEc – northern and north-eastern cyclonic type, E+SEa – eastern and south-eastern anticyclonic type, S+SWa – southern and south-western anticyclonic type, PA – arctic air mass, PPms – polar maritime old air mass, PPk – polar continental air mass, PPm – polar maritime air mass, rmp – different air masses



Ryc. 2. Odchylenia typów cyrkulacji i mas powietrza według klasyfikacji Niedźwiedzia (1981) w miesiącach o anomalnie małym (słupki czarne) i anomalnie dużym (słupki białe) zachmurzeniu od częstości w całym okresie 1971–2000 na analizowanych stacjach w zachodniej części Karpat Polskich

Fig. 2. Deviations of the frequencies of circulation types and air masses according to the classification by Niedźwiedź (1981) in the months with anomalous small (black columns) and large (white columns) amount of cloudiness from the frequencies in all the period 1971–2000 at analyzed stations in western part of Polish Carpathians

rodzajów – zamiast częstszego na pozostałych stacjach *Cumulus* – obserwowano rzadziej występujące gdzie indziej chmury *Cirrus* oraz *Stratus* (tab. 4).

Anomalnie dużemu zachmurzeniu w wyróżniających się miesiącach towarzyszyła zwiększona częstość typu cyrkulacji W+NWc (głównie Bielsko-Biała i Zakopane), a na Kasprowym Wierchu również Cc+Bc i N+NEc oraz masa PPms. Wpływ mas powietrza kształtował się w tym przypadku mniej wyraźnie (ryc. 2 i tab. 2). Najwięcej dni całkowicie zachmurzonych w miesiącach o anomalnie dużym zachmurzeniu obserwowano w Bielsku-Białej, ale ich liczba na Kasprowym Wierchu odbiegała od średniej miesięcznej jeszcze bardziej niż na poprzedniej stacji (tab. 3). W strukturze zachmurzenia w Bielsku-Białej oprócz rodzaju *Alto cumulus* dominowały chmury warstwowe, podczas gdy na pozostałych stacjach do stosunkowo częstych należał również *Cumulus* (tab. 4), a zatem w zwiększaniu zachmurzenia widoczną rolę odgrywała konwekcja.

Tab. 4. Rodzaje chmur przeważające (częstość >10%) w strukturze zachmurzenia w miesiącach o anomalnej wielkości zachmurzenia w zachodniej części Karpat Polskich w okresie 1971–2000  
Table 4. Cloud genera that prevailed (frequency >10%) in the cloudiness structure in months with anomalous amount of cloudiness in the western part of Polish Carpathians in the period 1971–2000

Percentyl Percentile	Bielsko-Biała	Kasprowy Wierch	Zakopane
<05	Ac (20,7) Sc (18,3) Cu (15,0)	Ci (18,2) St (16,6) Ac (15,1)	Sc (25,3) Cu (16,1) Ac (12,5)
>95	Sc (33,9) Ac (16,3) As (11,8) Ns (11,8)	St (36,9) Cu (16,9) Sc (15,2)	Sc (35,5) Cu (18,9) Ac (10,9)

Objaśnienia / Explanations: Ac – *Alto cumulus*, Sc – *Strato cumulus*, Cu – *Cumulus*, Ci – *Cirrus*, St – *Stratus*, As – *Alto stratus*, Ns – *Nimbo stratus*

## Lata o ekstremalnej wielkości zachmurzenia

Wyjątkowym rokiem, o najmniejszym zachmurzeniu na wszystkich stacjach (od 59,8% w Bielsku-Białej do 66,7% na Kasprowym Wierchu), był rok 1982 z przynajmniej jednym miesiącem (Bielsko-Biała – dwoma) o anomalnie małym zachmurzeniu. Największą przewagą w tym roku wyróżniały się: typ Ca+Ka i masa PPK. Wystąpiło w nim od 15 (Bielsko-Biała) do 23 (Zakopane) dni bezchmurnych. Największe (71,9%) zachmurzenie w Bielsku-Białej wystąpiło w 1974 r. charakteryzującym się 68 dniami całkowicie zachmurzonymi, na Kasprowym Wierchu



(77,6%) w 1981 r. wyróżniającym się liczbą dni całkowicie zachmurzonych (100) i największą częstością typu W+NWc, a w Zakopanem 1999 r. (73,8%) o 35 dniach z całkowitym zachmurzeniem. Podobnie na wszystkich stacjach ekstremalnie małym zachmurzeniem (od 30% w Zakopanem do 37,1% na Kasprowym Wierchu) wyróżniał się ten sam miesiąc: luty 1972 r., z obejmującą ponad połowę dni sumą częstości typów Ca+Ka, E+SEa i S+SWa.

## Wnioski

Pomimo ograniczonego do trzydziestolecia analizowanego okresu i możliwości uwzględnienia tylko trzech stacji na zróżnicowanym terenie górskim przeprowadzona analiza pozwoliła na stwierdzenie następujących zależności:

- cyrkulacja atmosferyczna wpływa na występowanie miesięcy o anomalnej wielkości zachmurzenia; na stacji o położeniu szczytowym większą rolę w jej występowaniu odgrywały określone masy powietrza, podczas gdy na pozostałych większą rolę odgrywały określone typy cyrkulacji;
- na typowo górskich stacjach anomalnie małe zachmurzenie w widocznym stopniu było kształtowane przez typy cyrkulacji z adwekcją z sektora południowego, warunkujące występowanie sytuacji fenowych;
- istniało częściowe podobieństwo uwarunkowań występowania miesięcy anomalnych i lat o ekstremalnych wielkościach zachmurzenia;
- rodzaje chmur dominujące w miesiącach o anomalnej wielkości zachmurzenia na analizowanych stacjach wykazały odrębność procesów kształtujących te anomalie zwłaszcza na stacji najwyżej i najniżej położonej;
- zachmurzenie obok kształtowania przez cyrkulację atmosferyczną na analizowanym terenie było wyraźnie modyfikowane przez zróżnicowane formy terenu, w jakich zlokalizowane są uwzględnione stacje.

## Literatura

- Kowalski L., 2003, *Statystyka*, Bel Studio, Warszawa.
- Matuszko D., 2006, *Chmury i pogoda*, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.
- Matuszko D., Piotrowicz K., 2012, *Ekstremalne zdarzenia pogodowe w Krakowie i ich uwarunkowania cyrkulacyjne*, [w:] Z. Bielec-Bąkowska, E. Łupikasa, A. Widawski (red.), *Rola cyrkulacji atmosfery w kształtowaniu klimatu*, Sosnowiec, Prace Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, 74, Sosnowiec, 211–218.
- Niedźwiedz T., 1981, *Sytuacje synoptyczne i ich wpływ na zróżnicowanie przestrzenne wybranych elementów klimatu w dorzeczu górnej Wisły*, Rozprawa Habilitacyjna, Uniwersytet Jagielloński, 58, Kraków.

Niedźwiedź T., 2011, *Kalendarz typów cyrkulacji atmosfery dla Polski południowej – zbiór komputerowy*, Uniwersytet Śląski, Katedra Klimatologii, Sosnowiec.

*Słownik meteorologiczny*, 2003, T. Niedźwiedź (red.), PTGeof./IMGW, Warszawa.

Żmudzka E., 2012, *Uwarunkowania cyrkulacyjne skrajnych zasobów termicznych w okresie wegetacyjnym w polskiej części Tatr (na przykładzie Zakopanego i Kasprowego Wierchu)*, [w:] Z. Bielec-Bąkowska, E. Łupikasz, A. Widawski (red.), *Rola cyrkulacji atmosfery w kształtowaniu klimatu*, Sosnowiec, Prace Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, 74, Sosnowiec, 235–246.

*Grażyna Pluta*

*Uniwersytet Jagielloński*

*Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej*

*ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków*

*e-mail: grazyna.pluta@uj.edu.pl*